

repository.ub.ac.id

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH DIMENSI DAN LETAK  
SALURAN BUANG TERHADAP KINERJA PERANGKAT  
*OSCILLATING WATER COLUMN***

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ABU RIZAL BAHRI  
NIM. 145060207111026**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

repository.ub.ac.id

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH DIMENSI DAN LETAK**  
**SALURAN BUANG TERHADAP KINERJA PERANGKAT**  
**OSCILLATING WATER COLUMN**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ABU RIZAL BAHRI**  
**NIM. 145060207111026**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 18 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Winarto, ST., MT., Ph.D  
NIP 19710710 200012 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. Lilis Yulianti, ST.,MT.  
NIP 19750702 200003 2 001

Mengetahui  
Ketua Program Studi



Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 197409302000121001

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Juli 2018  
Mahasiswa,



Abu Rizal Bahri  
NIM. 145060207111026

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, ``Studi Eksperimental Pengaruh Dimensi dan Letak Saluran Buang terhadap Kinerja Perangkat *Oscillating Water Column*`` dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasullulah Muhammad SAW.

Dalam penyusunan skripsi penulis telah mendapatkan bantuan, petunjuk, semangat, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, antara lain :

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, dan Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
2. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Teknik Konversi Energi.
3. Winarto, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi banyak pengetahuan, motivasi, bimbingan, dan arahan dengan sabar dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Dr. Eng Lilis Yulianti, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan wawasan baru, motivasi, bimbingan, arahan, dan teguran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini.
5. Dosen dan staf Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Kedua orang tua yang saya sayangi Rusni Hadiyanto dan Wagiyah yang telah memberikan dukungan secara material maupun moral tanpa batas berupa do'a, nasihat, arahan, dan motivasi untuk selalu berusaha di jalan yang benar, serta adik Burhanudin Yusuf yang ikut memberi dukungan kepada penulis.
7. Pak Jahirwan yang telah menyempatkan diri untuk membantu memfasilitasi alat penelitian, membantu pengambilan data, dan pengarahan.
8. Seluruh elemen di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida yaitu bapak Winarto, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala laboratorium, bapak Ponco Moch.NC selaku Laboran, dan teman-teman asisten laboratorium : mas Bahrul, mas Elga, mas Fathan, mas Puji, mas Bayu,

mas Faisal, mas Partogi, Arief, Asep, Ojik, Mukti, Jeremi, Jeremy, Endrew, Tamara dan Afan, yang selalu mengingatkan dan memberi dukungan kepada penulis.

9. Teman-teman FORSAG Malang yang telah berjuang merantau bersama.
10. Kawan kelompok skripsi : Paklek, Ojik, Asep yang telah bersama-sama berjuang.
11. Saudara Fadhli Dzil Ikram yang telah bersama-sama menjaga Laboratorium Mesin-Mesin Fluida dalam kondisi susah maupun senang.
12. Saudara – saudari seperjuangan M14 “MAF14”. Terimakasih telah menemani, berjuang, meruwet dan moseng bersama selama ini.
13. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut dan kemajuan kita bersama.

Malang, 06 Juni 2018

Penulis  
(Abu Rizal Bahri)



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ix</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	 <b>5</b>
2.1. Penelitian Terdahulu .....	5
2.2. Karakteristik Gelombang .....	6
2.3. Energi dan Daya Gelombang .....	7
2.4. Oscillating Water Column .....	9
2.5. Persamaan Kontinuitas.....	11
2.6. Persamaan Bernouli .....	12
2.7. Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamik.....	13
2.8. Kerugian Tekanan Aliran Dalam Pipa (Head Loss) .....	14
2.9. Aliran Kompresibel dan Inkompresibel .....	17
2.10. Hipotesa .....	17
 <b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	 <b>19</b>
3.1. Variabel Penelitian .....	19
3.2. Alat dan Bahan.....	20
3.3. Skema Instalasi Penelitian.....	24
3.4. Metode Pengambilan Data .....	24
3.5. Diagram Alir Penelitian .....	26
 <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	 <b>27</b>
4.1. Data dan Perhitungan .....	27
4.1.1. Pengolahan Data Daya Gelombang Air .....	27
4.1.2. Pengolahan Data Daya Udara .....	29
4.1.3. Pengolahan Data Efisiensi.....	29
4.2. Analisa Grafik .....	30

4.2.1. Hubungan Letak dan Diameter Saluran Buang Terhadap Kinerja Perangkat <i>Oscillating Water Column</i> .....	30
--	----

<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>35</b>
----------------------------	-----------

5.1. Kesimpulan .....	35
-----------------------	----

5.2. Saran.....	35
-----------------	----

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi gelombang .....	7
Tabel 4.1	Data karakteristik gelombang .....	28
Tabel 4.2	Data hasil perhitungan .....	30





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
<i>Gambar 2.1.</i>	Karakteristik gelombang .....	6
<i>Gambar 2.2.</i>	Skema <i>oscillating water column</i> .....	9
<i>Gambar 2.3.</i>	Aliran fluida dalam tabung .....	11
<i>Gambar 2.4.</i>	Pengukuran tekanan-tekanan statik danm stagnasi.....	13
<i>Gambar 2.5.</i>	Bentuk penyempitan dan belokan pada saluran .....	14
<i>Gambar 2.6.</i>	<i>Coefficient loss</i> .....	15
<i>Gambar 3.1.</i>	<i>Oscillating water column</i> dengan saluran buang atas.....	20
<i>Gambar 3.2.</i>	<i>Oscillating water column</i> dengan saluran buang samping .....	21
<i>Gambar 3.3.</i>	Desain kolam air .....	21
<i>Gambar 3.4.</i>	<i>Wave maker</i> .....	22
<i>Gambar 3.5.</i>	Arduino .....	23
<i>Gambar 3.7.</i>	Anemometer.....	24
<i>Gambar 3.8.</i>	Skema instalasi.....	24
<i>Gambar 3.9.</i>	Diagram alir penelitian .....	26
<i>Gambar 4.1.</i>	Hubungan waktu terhadap tinggi gelombang .....	27
<i>Gambar 4.2.</i>	Hubungan diameter saluran buang terhadap ketinggian permukaan air dalam kolom .....	31
<i>Gambar 4.3.</i>	Hubungan letak saluran buang terhadap ketinggian permukaan air dalam kolom .....	31
<i>Gambar 4.4.</i>	Hubungan diameter dan letak saluran buang terhadap daya udara.....	32
<i>Gambar 4.5.</i>	Hubungan diameter dan letak saluran buang terhadap efisiensi.....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Foto variasi diameter dan letak saluran buang
Lampiran 2.	Data ketinggian permukaan air dalam kolom pada saluran buang atas
Lampiran 3.	Data ketinggian permukaan air dalam kolom pada diameter 5,6 cm
Lampiran 4.	Data kecepatan udara pada saluran buang



## RINGKASAN

**Abu Rizal Bahri**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2018, Studi Eksperimental Pengaruh Dimensi dan Letak Saluran Buang terhadap Kinerja Perangkat *Oscillating Water Column*, Dosen Pembimbing : Winarto dan Lilis Yulianti.

Perangkat *oscillating water column* merupakan salah satu solusi dari masalah sumber energi listrik di Indonesia. Perangkat *oscillating water column* terdiri dari dua bagian penting, yaitu kolom air dan kolom udara. Prinsip kerja perangkat *oscillating water column* yaitu memanfaatkan gerakan naik turun gelombang laut didalam kolom untuk mendorong dan menghisap udara, sehingga terjadi perbedaan tekanan yang menyebabkan udara memiliki kecepatan pada saat masuk dan keluar kolom.

Untuk meningkatkan kinerja perangkat *oscillating water column* maka dilakukan pengujian eksperimental pengaruh letak dan diameter saluran buang, dimana letak dan diameter saluran buang akan mempengaruhi kinerja yang dihasilkan. Kinerja yang ditinjau dalam penelitian ini adalah efisiensi perangkat *oscillating water column*. Setelah dilakukan penelitian maka didapatkan hasil bahwa daya gelombang pada tiap variasi bernilai sama dikarenakan inputan energi gelombang pada variasi diameter dan letak sama, sedangkan daya udara dan efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi letak saluran buang atas dan diameter saluran buang sebesar 3,6 cm.

Hal ini dapat terjadi karena saluran buang atas memiliki hambatan lebih kecil dibandingkan saluran buang samping dan diameter saluran buang 3,6 cm memiliki kecepatan yang tinggi akan tetapi hambatan yang terjadi tidak terlalu besar sehingga dapat memiliki kinerja yang lebih optimal. Hambatan yang terjadi tergantung pada pola aliran yang terjadi, dimana pada aliran yang terdapat pusaran maka hambatan yang terjadi akan semakin besar. Besar hambatan sebanding dengan nilai kerugian energi yang terjadi, semakin besar hambatan maka kerugian energi semakin besar. Nilai efisiensi tergantung pada input dan output yaitu daya gelombang dan daya udara, karena nilai daya gelombang sama maka yang mempengaruhi efisiensi yaitu daya udara. Sehingga efisiensi tertinggi didapat pada saluran buang dan diameter saluran buang 3,6 cm.

**Kata kunci** : *oscillating water column*, letak, diameter, kinerja

## SUMMARY

**Abu Rizal Bahri**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, , Academic Supervisor: Winarto and Lilis Yuliati.

*The oscillating water column is one of the solutions to the problem of electrical energy source in Indonesia. The oscillating water column consists of two important parts, namely the water column and the air column. The working principle of the oscillating water column device is to utilize the movement up and down the ocean wave in the column to push and suck air, so there is a pressure difference that causes air to have speed at the time of entry and exit column.*

*To improve the performance of the oscillating water column device, experimental testing of the influence of the location and diameter of the exhaust channel, where the location and diameter of the exhaust channel will affect the resulting performance. The performance reviewed in this research is the efficiency of the oscillating water column device. After conducting the research, it was found that the wave power in each variation was the same value due to the input of wave energy on the diameter variation and the same location, while the air power and the highest efficiency were obtained at the variation of the location of the upper trunk and the sewer diameter by 3,6 cm.*

*This can happen because the upper drain has a smaller resistance than the side exhaust and the sewer diameter of 3,6 cm has a high speed but the resistance is not too big so it can have a more optimal performance. The obstacles that occur depend on the flow pattern that occurs, where the flow that there is a vortex hamabatan that happens will be greater. The obstacles proportional to the value of energy losses that occur, the greater the obstacle then the greater the energy losses. The value of efficiency depends on the input and output of wave power and air power, because the value of wave power is the same then that affect the efficiency of the air power. So that the highest efficiency is obtained in the exhaust and sewer diameter of 3,6 cm.*

**Keywords :** *oscillating water column, location, diameter, performance*

JUDUL SKRIPSI:

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH DIMENSI DAN LETAK SALURAN BUANG  
TERHADAP KINERJA PERANGKAT *OSCILLATING WATER COLUMN*

Nama Mahasiswa : Abu Rizal Bahri  
NIM : 145060207111026  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konversi Energi

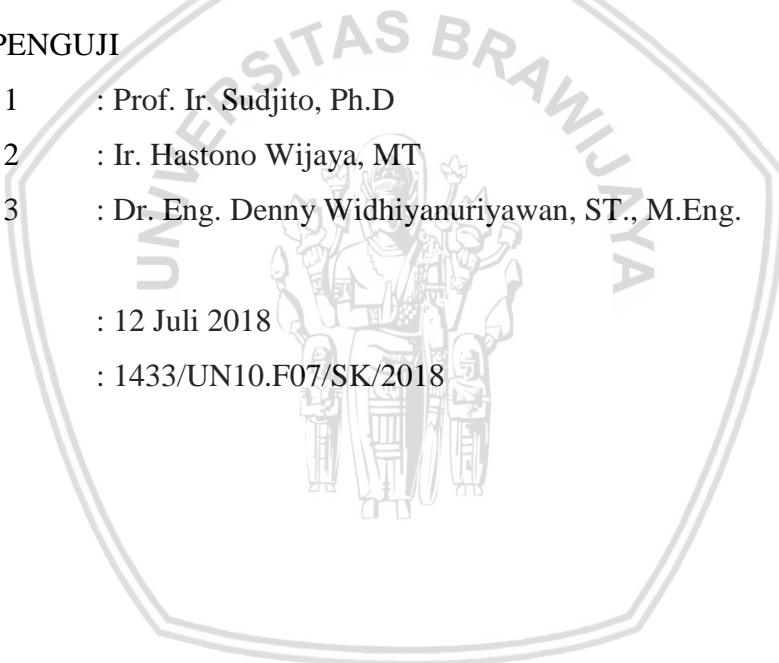
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Winarto, ST., MT., Ph.D.  
Pembimbing II : Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito, Ph.D  
Dosen Penguji 2 : Ir. Hastono Wijaya, MT  
Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian : 12 Juli 2018  
SK Penguji : 1433/UN10.F07/SK/2018



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat bergantung pada energi listrik. Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk. Kebutuhan listrik Indonesia diperkirakan tumbuh sebesar 6,5% per tahun sehingga kebutuhan listrik Indonesia pada tahun 2020 sebesar 272,34 TWh. Selama ini untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sebagian besar masih menggunakan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, yaitu sebesar 57,22% batu bara, 24,82% gas bumi, 5,81% Bahan Bakar Minyak (BBM), dan 12,15% Energi Baru Terbarukan (PLN, 2017). Ketersediaan bahan bakar fosil khususnya batu bara di Indonesia sebesar 28.457,29 Juta Ton diperkirakan akan habis dalam waktu sekitar 72 tahun (Tahun 2086) dengan tingkat produksi sebesar 400 Juta Ton pertahun, dan menimbulkan dampak yang buruk bagi lingkungan, sehingga dibutuhkan optimalisasi pemanfaatan energi terbarukan (*renewable energy*) agar kebutuhan akan energi listrik dapat tetap terpenuhi dan dampak buruk bagi lingkungan dapat dikurangi.

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas  $1.904.556 \text{ km}^2$  yang terdiri dari 17.508 pulau, 5,8 juta  $\text{km}^2$  lautan dan 81.290 km panjang pantai, maka potensi energi laut terutama gelombang laut sangat memungkinkan untuk dapat diberdayakan sebagai energi primer alternatif baru dan terbarukan terutama untuk pembangkit tenaga listrik. Potensi energi yang berasal dari gelombang laut di Indonesia memiliki daya terkecil yaitu sebesar 15.745 Watt di daerah perairan Selat Malaka, dan daya terbesar adalah sebesar 1.968.235 Watt di daerah perairan Selatan Banten hingga Jawa Barat (Utami, 2007). Untuk pembangunan pembangkit listrik energi gelombang sendiri dapat ditempatkan ditengah laut ataupun dipantai. Salah satu jenis pemanfaatan energi gelombang sebagai pembangkit energi listrik yaitu *oscillating water column*.

*Oscillating water column* merupakan teknologi pembangkit listrik yang menggunakan gelombang air laut yang didesain dengan sistem osilasi. Secara umum, perangkat OWC terdiri dari dua bagian, yaitu ruang yang berisi air dan udara. Perangkat tersebut digunakan untuk menjebak kolom udara di atas permukaan bebas. Saat gelombang menimpa perangkat, gerakan berosilasi dari permukaan air membuat udara mengalir melewati turbin yang akan menggerakkan generator listrik (Thiagarajan et al, 2007). Perangkat OWC merupakan perangkat konversi energi gelombang laut yang menarik karena pada tingkat



praktis perangkat ini hanya mempunyai sedikit komponen yang bergerak dan dapat diletakkan di laut lepas dengan keadaan terapung atau pada garis pantai. Efisiensi konversi perangkat ini tergantung pada bentuk dari perangkat, sistem saluran buang, dan karakteristik gelombang laut. Berdasarkan sistem saluran buang menurut hasil penelitian Ning et al, ditemukan bahwa ratio pembukaan  $e$  ( $e = S_o/S$ , dimana  $S_o$  dan  $S$  adalah luas penampang melintang dari masing-masing saluran buang dan ruang udara) memiliki pengaruh signifikan pada efisiensi hidrodinamika maksimum perangkat OWC. Efisiensi optimal terjadi pada ratio pembukaan  $e = 0,0066$  (Ning et al, 2016), hasil ini diperkuat oleh Ashlin yang menyatakan bahwa ratio saluran udara  $a/A$  antara 0,006 dan 0,007 membuat nilai efisiensi perangkat OWC menjadi optimum (Ashlin et al, 2016). Kinerja OWC dipengaruhi oleh dorongan air dari gelombang dan saluran buang, dimana saluran buang dapat mempengaruhi kinerja ketika diameter dan letak saluran buang dibuat bervariasi. Letak dan diameter saluran buang yang bervariasi dapat mempengaruhi hambatan udara di kolom udara dan saluran buang karena kerugian energi yang terjadi, sehingga dapat mempengaruhi kinerja perangkat OWC.

Berdasarkan penjelasan di atas dan untuk optimalisasi konversi energi gelombang laut pada perangkat OWC dengan berbagai variable penelitian yang sudah dilakukan maka perlu untuk dilakukan penelitian lanjutan yang menggabungkan berbagai kelebihan model hasil penelitian tersebut yaitu pengaruh letak dan dimensi saluran buang terhadap kinerja perangkat *oscillating water column*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dirumuskan sebuah permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi diameter dan letak saluran buang terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh perangkat *oscillating water column*.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat batasan – batasan antara lain yaitu :

- Udara didalam kolom diasumsikan *incompressible*.
- Panjang dan tinggi gelombang konstan.
- Permukaan air pada kolom dianggap memiliki tinggi yang sama.
- Tekanan statis disaluran dianggap sama dengan lingkungan.
- Daya gelombang tidak dipengaruhi oleh letak dan diameter saluran buang.

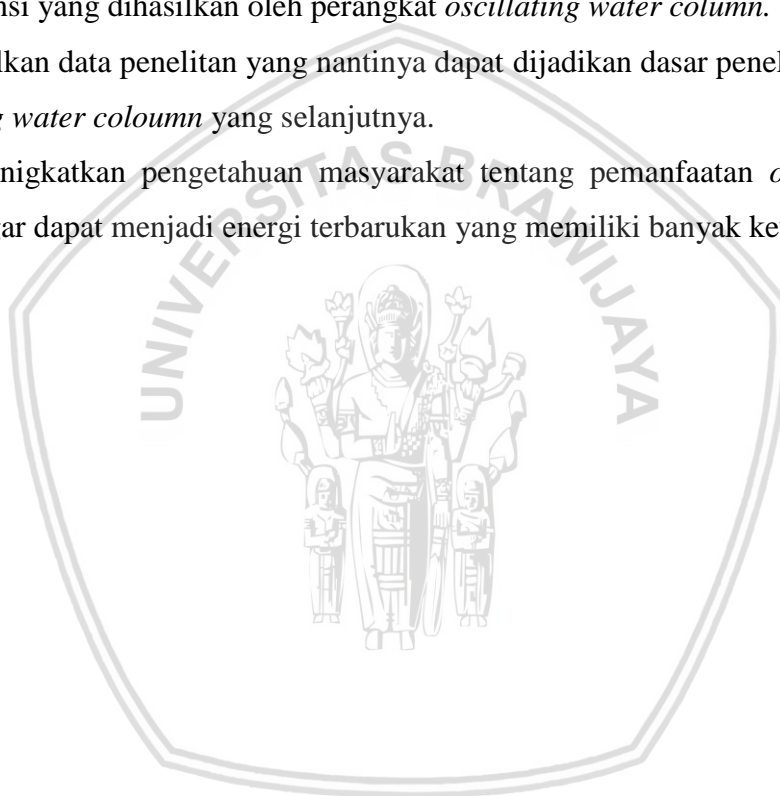
#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi diameter dan letak saluran buang terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh perangkat *oscillating water column*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- a. Mendapatkan hasil pengaruh variasi diameter dan letak saluran buang terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh perangkat *oscillating water column*.
- b. Menghasilkan data penelitian yang nantinya dapat dijadikan dasar penelitian perangkat *oscillating water column* yang selanjutnya.
- c. Dapat meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang pemanfaatan *oscillating water column* agar dapat menjadi energi terbarukan yang memiliki banyak keuntungan.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

*Oscillating water column* telah banyak diteliti oleh para peneliti sebelumnya, berbagai penelitian sebelumnya secara umum membahas tiga variabel penting dalam perangkat OWC, yaitu karakteristik gelombang laut, geometri column, dan saluran buang. Dari berbagai penelitian sebelumnya, keseluruhan bertujuan untuk meningkatkan tekanan udara pada kolom udara sehingga dapat meningkatkan efisiensi.

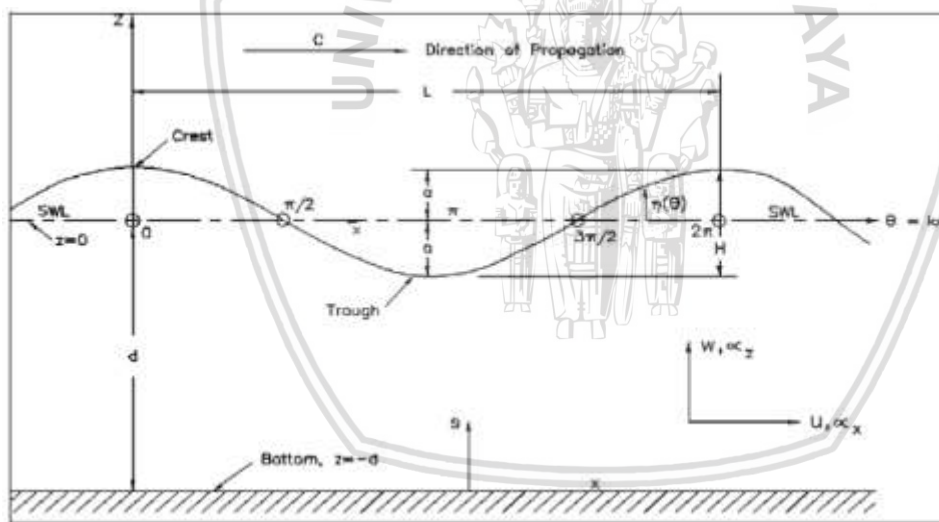
Ning (2016) melakukan penelitian tentang perangkat *oscillating water column* dengan menguji tiga bukaan berbentuk penampang melingkar. Ukuran bukaan dapat dijelaskan dengan rasio luas  $e = S_o/s$ , dimana  $S_o$  dan  $s$  masing - masing adalah *cross-sectional* penampang dari saluran buang dan ruang udara. Dalam penelitiannya Ning menggunakan amplitudo gelombang sebesar 0,03 m dengan rasio bukaan 0,0029, 0,0066, dan 0,0117. Efisiensi hidrodinamik yang optimal sangat dipengaruhi oleh ratio bukaan, dimana efisiensi hidrodinamik paling optimal didapat ketika ratio bukaan sebesar  $e = 0,006$ . Hal ini disebabkan pada rasio bukaan 0,006 dapat mencapai koefisien transmisi terkecil, dimana perbandingan tekanan udara diruang dan elevasi permukaan air maksimum paling kecil. Gerakan kolom air dipengaruhi oleh osilasi tekanan udara di ruangan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tekanan udara internal menurun dengan meningkatnya rasio bukaan, akan tetapi elevasi permukaan maksimum berubah dengan arah sebaliknya.

Ashlin (2015) menyatakan bahwa salah satu parameter yang paling penting dalam sistem OWC adalah ukuran saluran buang, maka dari itu penelitiannya menganalisa tentang pengaruh rasio luas penampang ( $a/A$ ) terhadap efisiensi OWC. Rasio luas penampang ( $a/A$ ) tersebut merupakan perbandingan antara luas penampang saluran buang dengan luas penampang kolom udara. Dengan menggunakan variasi ratio sebesar 0,001 hingga 0,012 Ashlin mendapatkan hasil bahwa efisiensi OWC mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya rasio luas penampang. Akan tetapi peningkatan efisiensi OWC akan mengalami penurunan setelah mencapai titik optimum pada rasio sebesar 0,006. Hal ini terjadi karena untuk rasio yang lebih kecil redaman udara dalam system akan

lebih tinggi dan cenderung menekan atau menipiskan kenaikan osilasi kolom air, maka redaman akan berkurang seiring dengan peningkatan rasio hingga pada rasio optimum. Jika rasio meningkat, perbedaan tekanan antara di dalam ruangan dan di luar akan rendah sehingga efisiensi OWC akan mengalami penurunan.

## 2.2 Karakteristik Gelombang

Gelombang dapat dijelaskan menggunakan beberapa parameter, yaitu tinggi gelombang ( $H$ ), panjang gelombang ( $L$ ), dan periode gelombang. Skema propagasi gelombang dalam arah sumbu  $x$  dapat dilihat pada gambar 2.1, puncak tertinggi pada gelombang disebut *crest* dan titik terendah pada gelombang disebut *trough*. Jarak antara titik *crest* terhadap permukaan air saat kondisi tenang secara tegak lurus disebut amplitudo ( $a$ ). Besar nilai tinggi gelombang ( $H$ ) bernilai  $H = 2a$ . Waktu yang diperlukan untuk terbentuknya satu *crest* dan satu *trough* disebut dengan periode. Panjang gelombang ( $L$ ) adalah jarak horizontal antara dua titik pada terbentuknya satu *crest* dan satu *trough*.



Gambar 2.1 Karakteristik Gelombang  
Sumber : Dean and Robert (1984)

Selain beberapa parameter yang sudah dijelaskan diatas gelombang memiliki beberapa parameter lain, yaitu *wave steepness*  $e = \frac{H}{L}$ , kedalaman relative  $= \frac{d}{L}$ , *wave number* ( $k = \frac{2\pi}{L}$ ), *wave celerity* (kecepatan gelombang), tinggi gelombang relative  $\frac{H}{d}$ . Untuk pergerakan gelombang sendiri biasanya didefinisikan dengan parameter tanpa satuan seperti  $\frac{H}{L}$ ,  $\frac{H}{d}$ , dan  $\frac{d}{L}$ .

Gelombang dapat diklasifikasikan berdasarkan kedalaman relative yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang ( $d/L$ ) menjadi tiga macam seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Gelombang

Klasifikasi	Shallow	Transitional	Deep
$\frac{d}{L}$	$< \frac{1}{20}$	$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{2}$
$kd$	$< \frac{\pi}{10}$	$\frac{\pi}{10} < kd < \pi$	$> \pi$
$C$	$\sqrt{gd}$	$\frac{gT}{2\pi} \tanh(kd)$	$\frac{gT}{2\pi}$
$c_g$	$c_g = c$	$\frac{L}{2T} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right]$	$\frac{c}{2}$

Sumber : Dean and Robert (1984)

### 2.3 Energi dan Daya Gelombang

Gelombang yang bergerak selain menimbulkan pergerakan partikel, juga dapat memberikan energi gelombang. Energi gelombang terdiri dari 2(dua) jenis, yaitu energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik terjadi karena adanya kecepatan partikel akibat gerak gelombang. Sedangkan energi potensial terjadi karena adanya perpindahan muka air karena gerakan gelombang. Untuk mendapatkan persamaan energi gelombang, diamsusikan suatu elemen dengan volume berukuran  $dx \times dz \times 1$  dengan berat jenis  $\rho$  dan dengan massa  $dm$ . Karena adanya kecepatan partikel dalam arah horizontal ( $u$ ) dan vertikal ( $w$ ), elemen tersebut akan menghasilkan energi kinetik dengan persamaan 2-2,

$$dE_k = \frac{1}{2} dm \cdot V^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

$$dE_k = \frac{1}{2} (u^2 + w^2) \rho \cdot 1 \cdot dx \cdot dz \dots\dots\dots (2-2)$$

Untuk menyelesaikan persamaan (2-2), maka dapat dilakukan dengan cara mengintegrasikan persamaan 2-3,

$$dE_k = \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} (u^2 + w^2) \rho \cdot 1 \cdot dx \cdot dz \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana persamaan kecepatan arah horizontal zat cair dan arah vertikal zat cair adalah



$$u = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (2-4)$$

$$w = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (2-5)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan (2-4) dan (2-5) ke dalam (2-3) maka diperoleh persamaan 2-6,

$$\overline{Ek} = \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} \left( \left( \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \right)^2 + \left( \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \right)^2 \right) \rho \cdot 1 \cdot dx \cdot dz \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana : d = jarak antara muka air rerata dan dasar laut

$\sigma$  = frekuensi gelombang

H = tinggi gelombang

L = panjang gelombang

T = periode gelombang

k = bilangan gelombang

$$k = \frac{2\pi}{L} \dots\dots\dots (2-7)$$

Dari persamaan (2-6) dapat disusun bentuk persamaan dan diselesaikan sehingga menghasilkan persamaan 2-8,

$$\overline{Ek} = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots (2-8)$$

Energi potensial yang dihasilkan pada gerak gelombang air diperoleh dari energi potensial pada gelombang dikurangi dengan energi gelombang disaat massa air diam yang secara persamaan dapat dilihat pada persamaan 2-9.

$$(\overline{PE})_{waves} = (\overline{PE})_T - (\overline{PE})_{w/o} \dots\dots\dots (2-9)$$

atau

$$(\overline{PE})_{waves} = (\overline{PE}) = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dari persamaan energi potensial diatas untuk mendapatkan energi total rata-rata untuk setiap satuan luas permukaan gelombang maka dijumlahkan dengan energi kinetik sehingga menjadi persamaan 2-11.

$$\bar{E} = \bar{E}_k + \bar{E}_p = \frac{\rho g H^2}{8} \dots\dots\dots (2-11)$$

Komponen energi pada gelombang laut yaitu energi kinetik dan energi potensial. Gelombang bergerak secara terus menerus dari laut lepas menuju ke pantai sehingga energi juga bergerak memiliki kecepatan. Kecepatan energi berpindah pada gelombang air disebut dengan daya gelombang

Besar nilai daya gelombang dapat dirumuskan dengan persamaan 2-12.

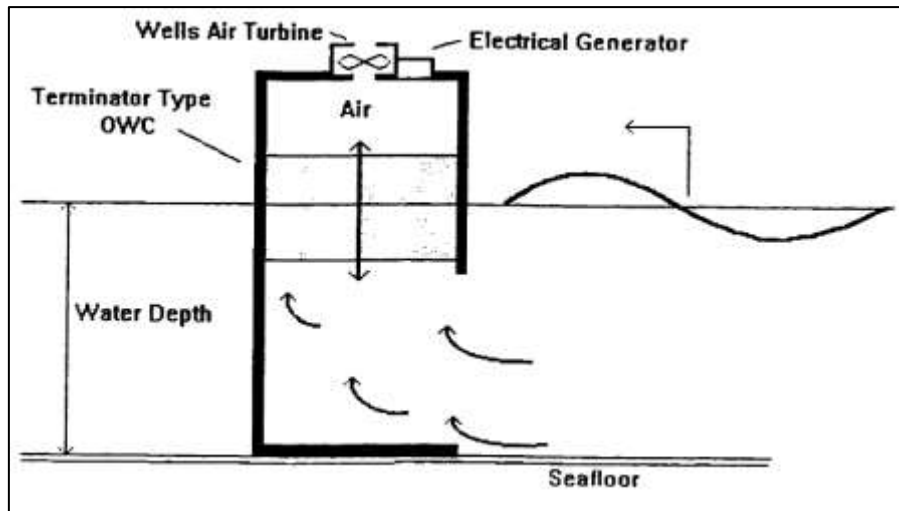
$$\overline{P_{wave}} = \bar{E} c_g \dots\dots\dots (2-12)$$

Nilai  $c_g$  memiliki nilai yang berbeda beda tergantung karakteristik gelombang yang terbentuk.

## 2.4 *Oscilating Water Column*

*Oscillating water column* (OWC) adalah sebuah perangkat yang mengkonversi energy gelombang laut menjadi energy listrik dengan turbin sebagai penggerak motor listrik. Prinsip kerja alat OWC ini adalah mengubah energy gelombang laut menjadi energy listrik berdasarkan prinsip kerja osilasi. Gelombang datang dari arah laut masuk kedalam kolom air OWC dimana pada bagian bawah perangkat terdapat ruang terbuka sebagai jalan masuk air laut, karena tekanan yang dimiliki oleh gelombang air laut maka air laut yang terdapat pada bagian kolom air OWC akan berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan laju aliran udara keluar dan masuk pada kolom udara. Untuk skema sederhana perangkat OWC dapat dilihat pada gambar 2.2.

Daya tarik dari konsep OWC dengan turbin udara karena konstruksinya yang sederhana. Pada tingkat praktis hanya ada sedikit bagian yang bergerak, tidak ada bagian yang bergerak didalam air, dapat beradaptasi dan digunakan pada garis pantai, dekat pantai, maupun lepas pantai, tanpa penggunaan gearbox, serta menggunakan ruang laut secara efisien.



Gambar 2.2 Skema *oscillating water column*  
Sumber : Warner (1997)

Dalam karakteristik gelombang laut berpengaruh karena daya yang diserap oleh OWC adalah energi gelombang laut. Karakteristik gelombang untuk mendapatkan energi yang tinggi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, dan amplitudo gelombang. Dari segi rumus Daya yang dimiliki gelombang dapat dirumuskan menggunakan persamaan 2-13.

$$P_w = \bar{E} \cdot C_g \cdot b \dots\dots\dots (2-13)$$

$$P_w = \left(\frac{1}{8} \rho_w g H^2\right) \cdot \left\{\frac{L}{2T} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right]\right\} \cdot b \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana :

$P_w$  = daya air gelombang

$\rho_w$  = massa Jenis Air

$g$  = gravitasi bumi

$H$  = tinggi gelombang

$T$  = periode gelombang

$b$  = lebar geometri OWC . yang sejajar dengan arah gelombang laut masuk

Selain karakteristik gelombang , hal yang berpengaruh terhadap kinerja OWC adalah geometri OWC. Beberapa geometri yang berpengaruh dalam OWC antara lain bentuk *chamber*, kemiringan dinding depan OWC, luas permukaan sisi masuk air dan sebagainya. Dalam geometri OWC untuk mengetahui geometri mana yang optimal dapat diperoleh dari sebuah eksperimental.

Kinerja OWC dapat memperoleh optimal apabila menggunakan saluran buang yang sesuai. Saluran buang dapat mempengaruhi tekanan yang keluar dari ruang *chamber*. Rumus daya udara pada perangkat OWC dapat ditunjukkan pada persamaan 2-15.

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q \dots\dots\dots (2-15)$$

$$P_{owc} = \left(\frac{\rho_a v^2}{2}\right) \cdot \left(v \cdot \frac{\pi D^2}{4}\right) \dots\dots\dots (2-16)$$

Dimana

$P_{owc}$  = daya yang dihasilkan OWC

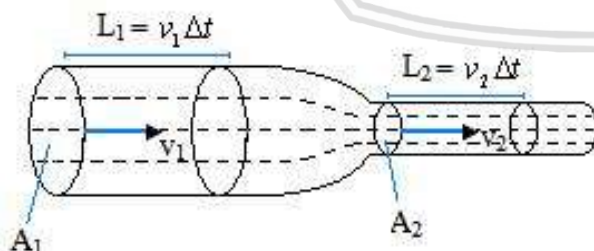
$\rho_a$  = massa jenis udara

$v$  = kecepatan udara di saluran buang

Keuntungan perangkat OWC untuk mengkonversi energi gelombang laut adalah konstruksi yang sederhana. Kontruksi yang tidak memiliki bagian bergerak mengakibatkan perawatan mudah. Kontruksi perangkat OWC juga mudah dalam peletakan seperti penggunaan dapat diletakkan pada garis pantai, dekat pantai maupun lepas pantai.

## 2.5 Persamaan Kontinuitas

Disebut juga hukum kekekalan massa, menyatakan bahwa laju perubahan massa fluida yang terdapat dalam ruang yang ditinjau pada selang waktu  $\Delta t$  harus sama dengan perbedaan antara jumlah massa yang masuk dan laju massa yang keluar ke dan dari elemen fluida yang ditinjau.



Gambar 2.3 Aliran fluida dalam tabung

Terdapat aliran fluida pada satu saluran dengan perubahan luas penampang seperti terlihat pada gambar 2.3. Pada fluida tak termampatkan, massa jenis fluida selalu sama di setiap titik yang dilaluinya. Massa fluida yang mengalir dalam pipa dengan luas penampang  $A_1$  selama selang waktu tertentu:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$m = \rho V \dots\dots\dots (2-18)$$

$$m_1 = \rho V_1 \dots\dots\dots (2-19)$$

$$V_1 = A_1 L_1 = A_1 v_1 \Delta t \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\dot{m}_1 = \rho A_1 v_1 \dots\dots\dots (2-21)$$

Mengingat bahwa dalam aliran tunak, massa fluida yang masuk sama dengan massa fluida yang keluar, maka:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \dots\dots\dots (2-23)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots (2-24)$$

Dimana:

$A_1$  = Luas penampang 1

$A_2$  = Luas penampang 2

$v_1$  = Kecepatan aliran fluida pada penampang 1

$v_2$  = Kecepatan aliran fluida pada penampang 2

$Av$  = Laju aliran volume  $V/t$  atau debit

## 2.6 Persamaan Bernouli

Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama.

Syarat – syarat berlakunya persamaan Bernoulli adalah:

- Aliran *steady* (*steady flow*)
- Aliran tanpa gesekan (*frictionless flow*)
- Tidak ada kerja poros (*no shaft work*)
- Aliran *incompressible* (*incompressible flow*)
- Tidak ada perpindahan panas (*no heat transfer*)
- Aliran menurut garis arus (*flow along a streamline*)

Suatu aliran fluida *incompressible* yang memiliki tekanan (P), kecepatan (v), dan beda ketinggian (z) mempunyai energi aliran fluida yang ditunjukkan dengan persamaan 2-25.

- Persamaan energi :

$$m \cdot g \cdot z + P \cdot V + \frac{mv^2}{2} = c \dots\dots\dots (2-25)$$

$$m \cdot g \cdot z + P \cdot \frac{m}{\rho} + \frac{mv^2}{2} = c \dots\dots\dots (2-26)$$

- Persamaan energi spesifik tiap satuan massa:

$$g \cdot z + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} = c \left( \frac{\text{Nm}}{\text{kg}} \right) \dots\dots\dots (2-27)$$

- Persamaan energi spesifik tiap satuan berat (*head*):

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = c \text{ (m)} \dots\dots\dots (2-28)$$

- Persamaan bernoulli umumnya ditulis dalam bentuk :

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2-29)$$

dengan :  $z$  adalah *head* elevasi

$\frac{P}{\rho \cdot g}$  adalah *head* tekanan

$\frac{v^2}{2g}$  adalah *head* kecepatan

Sebagai contoh adalah aliran air di dalam pipa, pada posisi 1 air mempunyai tekanan  $P_1$ , luas penampang  $A_1$ , dan kecepatan  $v_1$ . Perubahan bentuk energi akan terjadi bila pada posisi 2 penampangnya diperkecil. Dengan demikian, kecepatan air akan naik menjadi  $v_2$  dan tekanan  $P_2$  akan berkurang. Hal ini dapat terlihat jelas apabila letak pipa dalam keadaan horizontal ( $z_1=z_2$ ).

Jadi, persamaan bernoulli dapat dinyatakan sebagai berikut: “pada tiap saat dan tiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran di dalam pipa tanpa gesekan yang tidak bergerak akan mempunyai jumlah energi ketinggian tempat, tekanan, dan kecepatan yang sama besarnya”.

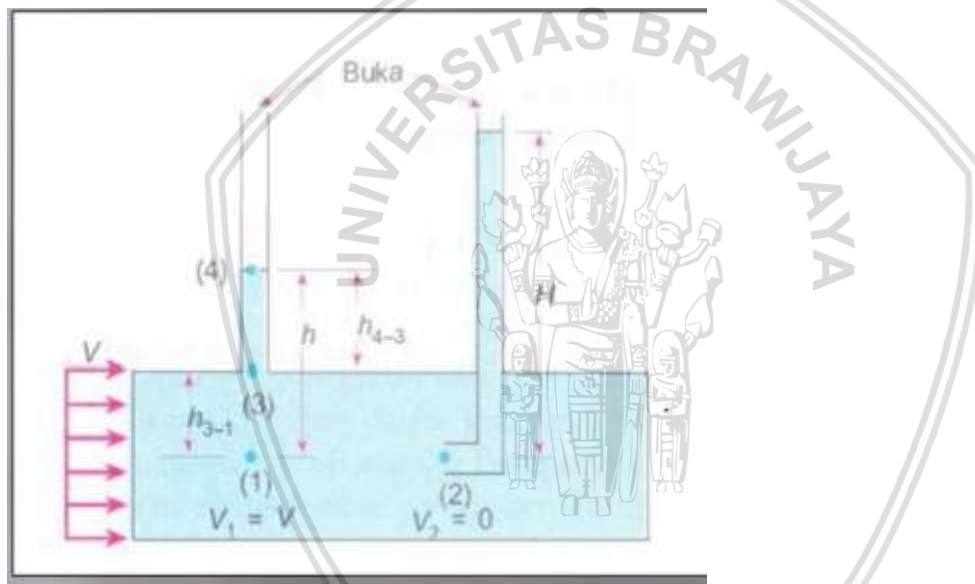
## 2.7 Tekanan Statik, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamik

Konsep Bernoulli sangat berhubungan dengan tekanan statik stagnasi dan dinamik. Tekanan ini timbul dari perubahan energi kinetik dalam sebuah fluida yang mengalir menjadi suatu “kenaikan tekanan” ketika fluida dibuat menjadi diam. Persamaan bernoulli mempunyai dimensi gaya per satuan luas.



$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{konstan sepanjang garis streamline}$$

Pada suku pertama,  $P$ , adalah tekanan termodinamika actual dari fluida ketika mengalir. Untuk mengukur nilainya, seseorang dapat bergerak bersama fluida, sehingga menjadi statik relatif terhadap fluida yang bergerak. Maka tekanan tersebut disebut tekanan static. Cara lain untuk mengukur tekanan statik adalah dengan membuat sebuah lubang pada permukaan rata dan memasang tabung sebuah piezometer seperti yang ditunjukkan oleh titik (3) pada gambar 2.4. Seperti pada gambar 2.4, tekanan dalam yang mengalir di titik (1) adalah  $P_1 = \rho gh_{3-1} + P_3$ , sama dengan jika fluida dalam tekanan statik. Suku ketiga dalam persamaan,  $\rho gh$ , disebut tekanan hidrostatik, suku ini mewakili perubahan tekanan yang berubah karena perubahan ketinggian.



Gambar 2.4 Pengukuran tekanan-tekanan statik dan stagnasi  
Sumber : Munson and Young (2004)

Suku kedua dalam persamaan bernoulli,  $\rho v^2/2$ , disebut sebagai tekanan dinamik. Dapat dilihat pada gambar 2.4 tekanan ditinjau pada ujung sebuah tabung kecil yang berada pada aliran mengarah ke hulu. Setelah gerakan transien awal hilang, zat cair akan memenuhi tabung sampai ketinggian,  $H$ , seperti yang ditunjukkan. Fluida di dalam tabung termasuk juga yang berada ujungnya (2), akan diam. Jadi  $V_2 = 0$ , atau titik (2) adalah tekanan stagnasi. Jika menerapkan persamaan bernoulli antara (1) dan (2), dengan menggunakan  $V_2 = 0$  dan mengasumsikan bahwa  $z_1 = z_2$ , maka didapatkan

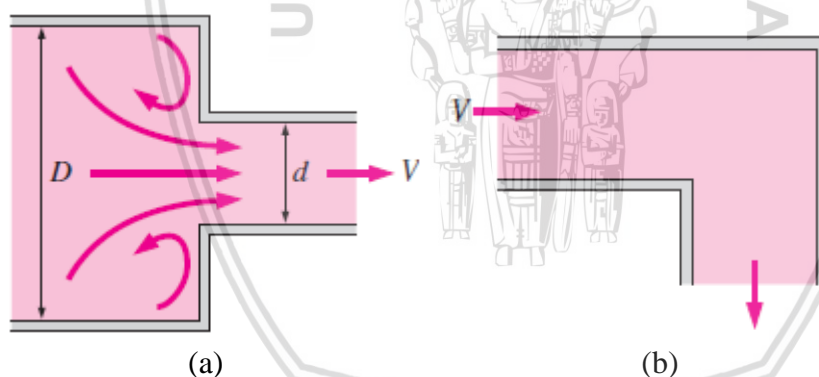
$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

Dengan demikian, tekanan pada titik stagnasi lebih besar daripada tekanan statik,  $P_1$ , sebesar tekanan dinamik  $\frac{1}{2}\rho v_1^2$ . Jika efek ketinggian diabaikan, tekanan stagnasi  $p + \rho V^2/2$ , adalah tekanan terbesar yang dapat diperoleh sepanjang suatu garis-arus. Tekanan ini menunjukkan perubahan dari seluruh energi kinetik menjadi sebuah kenaikan tekanan. Jumlah dari tekanan statik, tekanan hidrostatik, dan tekanan dinamik disebut sebagai tekanan total.

## 2.8 Kerugian Tekanan Aliran Dalam Pipa (*Head Loss*)

*Head loss* (HL) merupakan suatu kerugian yang dialami aliran fluida selama mengalir dimana kerugian itu tergantung pada geometri penampang saluran dan parameter-parameter fluida serta aliran itu sendiri. Kerugian tinggi tekan (*head loss*) dapat dibedakan atas kerugian gesekan dalam saluran (*major loss*) dan (*minor losses*).

*Minor losses* disebabkan oleh alat-alat pelengkap lokal, atau yang diberi istilah tahanan hidrolis. Diantaranya yaitu perubahan bentuk saluran atau perubahan ukurannya. Contoh dari beberapa alat - alat pelengkap lokal dapat dilihat pada gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.5 (a) Bentuk penyempitan saluran, (b) Bentuk belokan

Sumber : Cengel and John (2004)

$$h_l = k \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2-30)$$

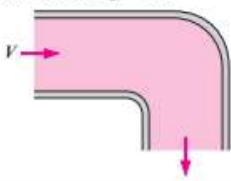
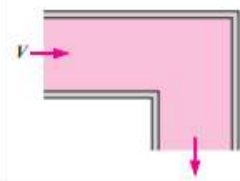
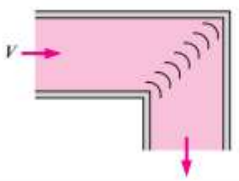
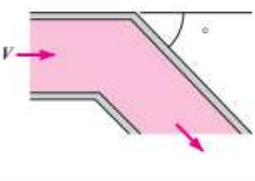
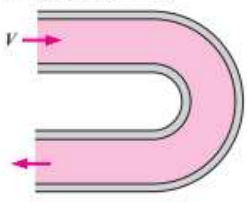
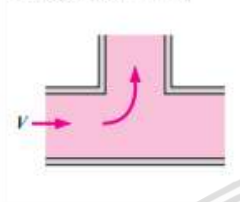
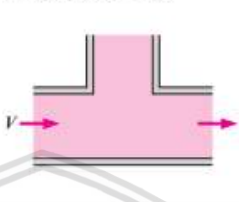
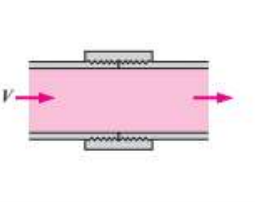
Dimana :

$h_l$  = Kerugian aliran (m)

$k$  = Koefisien hambatan

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

$g$  = Gravitasi ( $m/s^2$ )

<b>Bends and Branches</b> 90° smooth bend: Flanged: $K_L = 0.3$ Threaded: $K_L = 0.9$ 	90° miter bend (without vanes): $K_L = 1.1$ 	90° miter bend (with vanes): $K_L = 0.2$ 	45° threaded elbow: $K_L = 0.4$ 
180° return bend: Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 1.5$ 	Tee (branch flow): Flanged: $K_L = 1.0$ Threaded: $K_L = 2.0$ 	Tee (line flow): Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 0.9$ 	Threaded union: $K_L = 0.08$ 
<b>Valves</b> Globe valve, fully open: $K_L = 10$ Angle valve, fully open: $K_L = 5$ Ball valve, fully open: $K_L = 0.05$ Swing check valve: $K_L = 2$			
Gate valve, fully open: $K_L = 0.2$ $\frac{1}{4}$ closed: $K_L = 0.3$ $\frac{1}{2}$ closed: $K_L = 2.1$ $\frac{3}{4}$ closed: $K_L = 17$			
<small>* These are representative values for loss coefficients. Actual values strongly depend on the design and manufacture of the components and may differ from the given values considerably (especially for valves). Actual manufacturer's data should be used in the final design.</small>			

Gambar 2.6 Coefficient loss

Sumber : Cengel and John (2004)

Kerugian dalam pipa atau *major losses* merupakan kerugian yang disebabkan oleh gesekan aliran dengan pipa sepanjang lintasan. Kerugian gesekan untuk perhitungan aliran didalam pipa pada umumnya dipakai persamaan.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-31)$$

Dimana :

$h_f$  = *Major losses* (m)

$f$  = Koefisien gesekan

$L$  = Panjang pipa (m)

$D$  = Diameter pipa (m)

$V$  = Kecepatan aliran (m/s)

$g$  = Gravitasi ( $m/s^2$ )

## 2.9 Aliran Kompresibel dan Inkompresibel

Fluida diklasifikasikan kompresibel atau inkompresibel berdasarkan variasi rapat massa fluida tersebut selama mengalir. Aliran di mana perbedaan dalam massa jenis dapat diabaikan disebut inkompresibel. Ketika perbedaan massa jenis aliran yang tidak dapat

diabaikan, aliran ini disebut kompresibel. Pada kenyataannya tidak ada fluida yang massa jenisnya konstan, tetapi ada beberapa masalah aliran fluida yang dapat disederhanakan dengan menganggap massa jenisnya konstan. Hal ini tidak mengurangi keakuratan solusi yang didapat. Parameter yang menjadi acuan utama untuk menentukan suatu aliran kompresibel atau tidak, dilihat dari nilai *Mach Number* ( $M$ ), yang didefinisikan sebagai rasio antara kecepatan aliran lokal terhadap kecepatan suara lokal, secara persamaan dapat dilihat pada persamaan 2-33.

$$M = \frac{V}{c} \dots\dots\dots (2-33)$$

Dimana :

$M$  = bilangan *Mach*

$V$  = kecepatan aliran (m/s)

$c$  = kecepatan suara (m/s)

## 2.10 Hipotesa

Perangkat *Oscillating Water Column* (OWC) dengan variasi diameter saluran buang akan menghasilkan nilai daya dan efisiensi perangkat OWC optimum pada diameter saluran buang tertentu. Hal ini dikarenakan dengan diameter yang kecil maka kecepatan udara semakin besar, akan tetapi kerugian energi yang terjadi akan semakin besar. Maka daya dan efisien yang dihasilkan oleh perangkat OWC akan cenderung bertambah besar hingga nilai optimum kemudian mengalami penurunan. Untuk variasi letak saluran buang akan mempengaruhi daya dan efisiensi perangkat OWC dikarenakan kerugian energi yang terjadi pada saluran buang samping lebih besar dibandingkan saluran buang atas.



### **BAB III**

## **METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode berbasis percobaan dengan membuat perancangan sistem peralatan ini kemudian dilakukan pengujian dan percobaan pada sistem tersebut. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai dengan Mei 2018.

### **3.1 Variabel Penelitian**

Pada penelitian ini, variable-variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### **1. Variabel Bebas**

Adalah variabel yang nilainya dapat diubah dan tidak di pengaruhi oleh variabel lain, variabel bebas dalam penelitian ini adalah diameter saluran buang perangkat OWC dan letak saluran buang, yaitu :

- a. Diameter saluran buang sebesar 5.6 cm, 3.6 cm, dan 1.6 cm.
- b. Variasi letak saluran buang yaitu pada posisi atas kolom (15 cm dari masing-masing sisi samping kolom) dan pada posisi samping (15 cm dari sisi atas dan 15 cm dari sisi samping kolom). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2.

#### **2. Variabel terikat**

Variabel terikat merupakan yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah daya udara dan efisiensi perangkat OWC.

#### **3. Variabel terkontrol**

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dijaga agar tetap konstan selama penelitian. Variabel terkontrol yang digunakan antara lain :

- a. Kedalaman air kolam (30 cm).
- b. Tinggi gelombang (5 cm).
- c. Panjang gelombang (300 cm).
- d. Ukuran kolom tetap (30 cm x 30 cm).

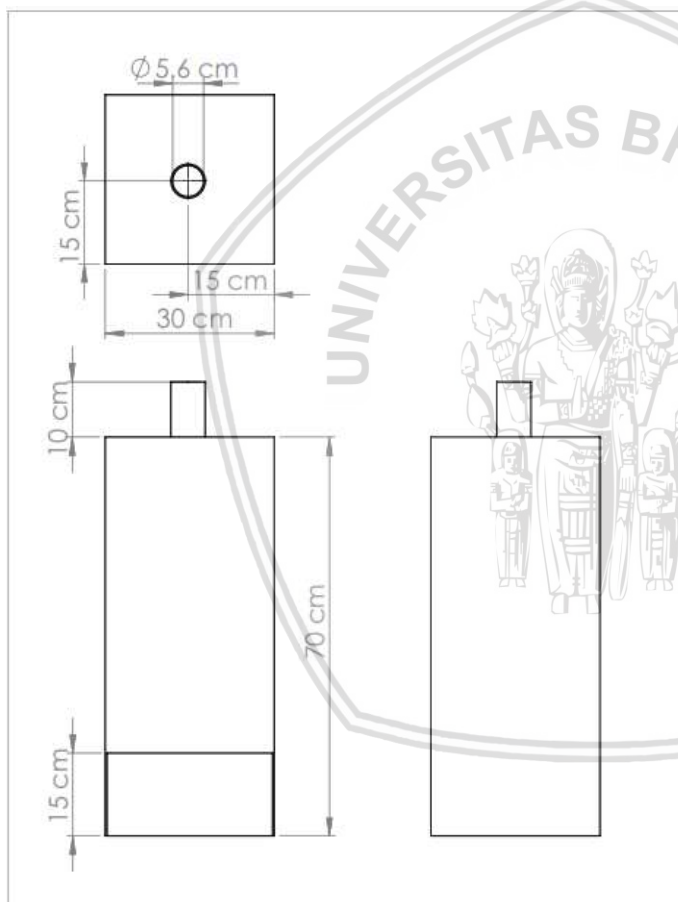


### 3.2 Alat dan Bahan

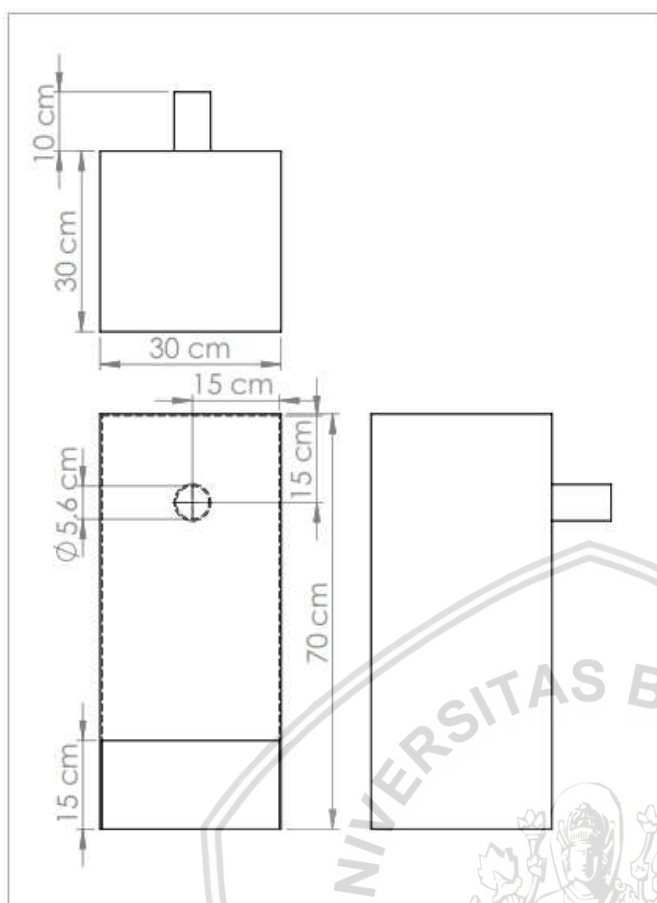
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. *Oscillating Water Column*

*Oscillating Water Column* merupakan komponen utama pada penelitian ini, hasil yang diamati adalah tekanan udara yang keluar pada saluran buang dan tekanan pada kolom udara. Pada instalasi penelitian ini menggunakan satu buah kolom udara dan empat buah saluran buang dengan diameter yang berbeda. Kolom udara dan saluran buang yang dipakai terbuat dari bahan akrilik. Desain dan dimensi perangkat *oscillating water column* dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2.

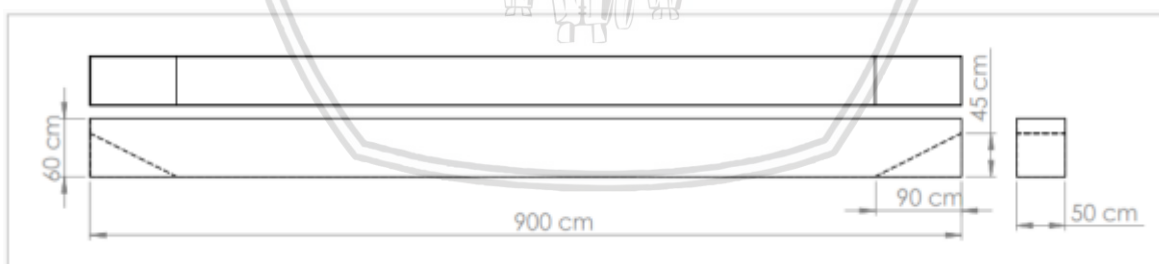


Gambar 3.1 *Oscillating Water Column* dengan saluran buang atas.



Gambar 3.2 *Oscillating Water Column* dengan saluran buang samping.

## 2. Kolam Air



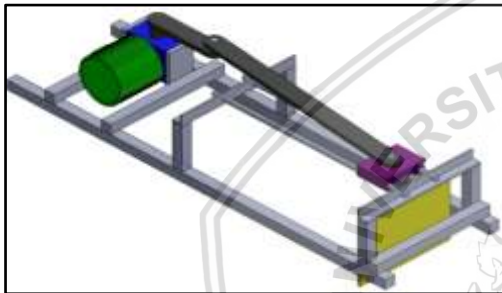
Gambar 3.3 Desain kolam air

Kolam air berfungsi sebagai tempat dimana gelombang dibentuk hingga bergerak menuju *oscillating water column*. Didalam kolam air terdapat dua buah peredam gelombang dimasing-masing ujung kolam, dimana berfungsi untuk mengurangi gelombang balik setelah mencapai ujung kolam. Kolam air dan pemecah gelombang terbuat dari akrilik dengan ukuran panjang 900 cm, lebar 60 cm dan kedalaman 60 cm. Desain dari kolam air dapat dilihat pada gambar 3.3.

### 3. Wave Maker

*Wave maker* berfungsi sebagai pembuat gelombang air dengan cara melakukan gerakan bolak balik secara translasi pada papan pendorong sehingga menyebabkan terbentuknya gelombang air. *Wave maker* sendiri terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

- Motor 3 Phase 2 Hp
- Gearbox* dengan *ratio* 1 : 28
- Lengan pendorong
- Sistem translasi
- Papan pendorong



Gambar 3.4 Wave Maker

### 4. Arduino UNO R3

Arduino adalah sebuah chip mikrokontroler untuk mengatur komponen lain yang terhubung. Arduino dihubungkan dengan sensor untuk mengukur tinggi gelombang dan tekanan udara. Spesifikasi dari arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

- Mikrokontroler : ATmega328
- Operasi tegangan : 5 Volt
- Input tegangan : 7-12 Volt
- Pin I/O digital : 14
- Pin analog : 6
- Arus DC tiap pin I/O : 50 mA
- Arus DC ketika 3.3V : 50 mA
- Memori flash : 32 KB
- SRAM : 2 KB
- EEPROM : 1 KB
- Kecepatan clock : 16 MHz



Gambar 3.5 Arduino

#### 5. Sensor Ultrasonic ( HC-SR04)

Sensor ultrasonic berfungsi untuk mengukur ketinggian permukaan gelombang laut.

Spesifikasi dari sensor HC-SR04 sebagai berikut:

- Range jarak antara 2cm – 300cm
- Tingkat kepresisian pengukuran jarak  $\pm 3\text{mm}$
- Ketelitian pengukuran 0.05mm
- Dimensi modul 45mm x 20mm



Gambar 3.6 Sensor Ultrasonic ( HC-SR04)

#### 6. Anemometer (Lutron LM-8000 4)

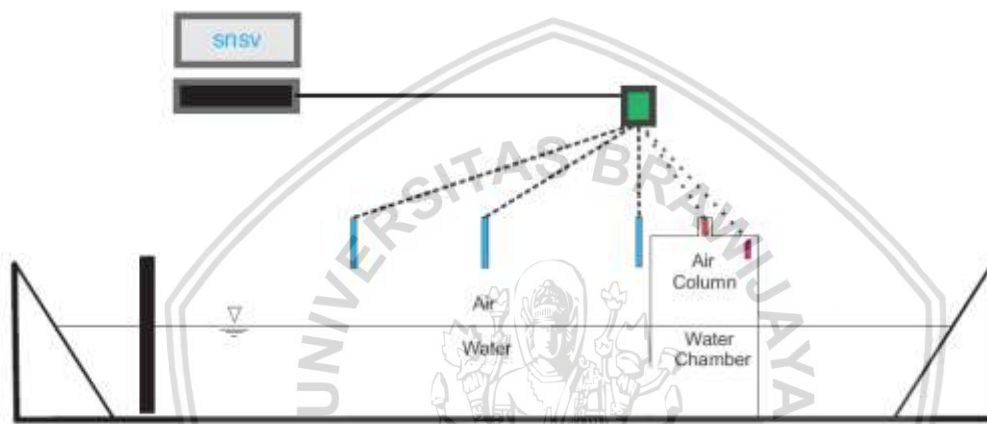
Anemometer berfungsi untuk mengukur besar kecepatan angin. Spesifikasi dari anemometer (Lutron LM-8000 4) sebagai berikut:

- Range kecepatan : 0.4 m/s – 30 m/s
- Kelembaban : Max. 80% RH.
- Suhu operasi : 0 sampai 50 ° C (32 sampai 122 ° F)
- Power Supply : baterai 006P DC 9V (Heavy Jenis duty)



Gambar 3.7 Anemometer

### 3.3 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.8 Skema Instalasi

### 3.3 Metode Pengambilan Data

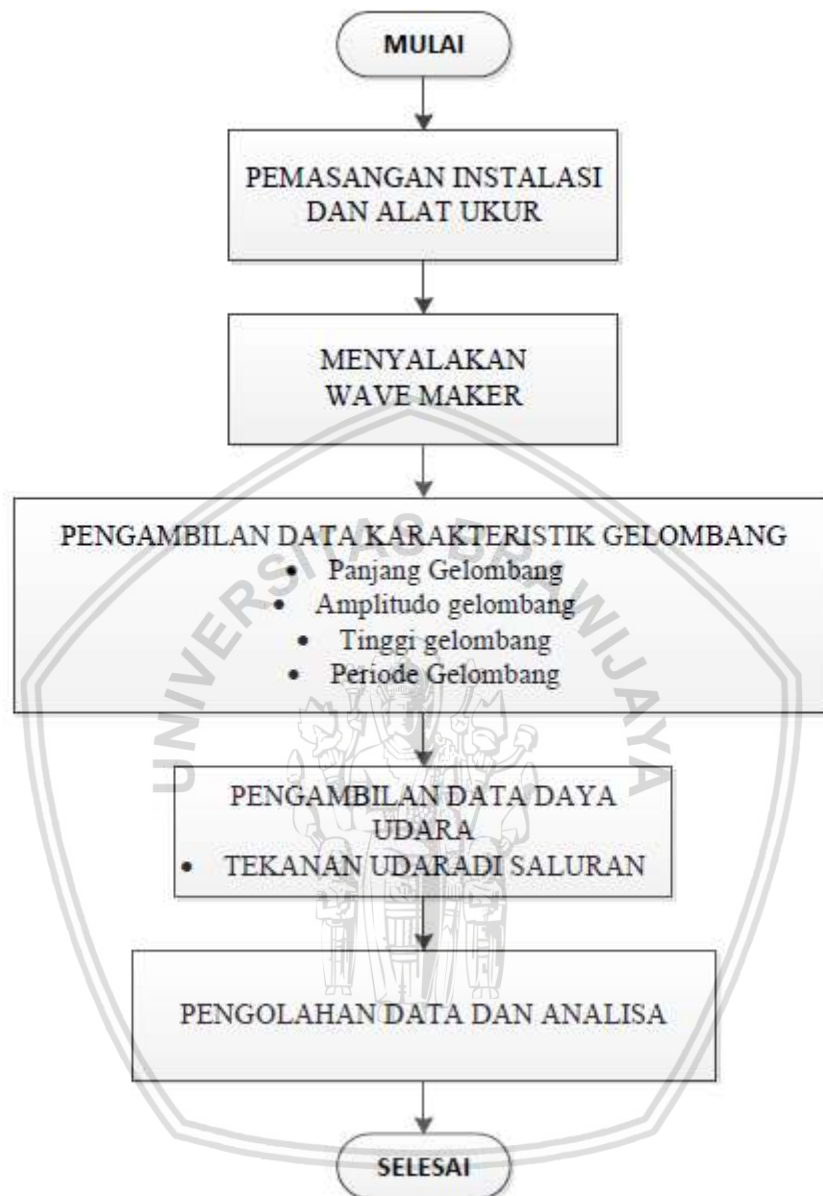
Pengujian dimulai dengan pemasangan alat yang dirangkai seperti gambar 3.7. Setelah semua alat sudah terpasang pastikan semua alat uji yang terpasang berfungsi dengan baik. Kemudian menghidupkan *wave maker* untuk menghasilkan gelombang pada kolam air. Mengukur tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang yang dihasilkan menggunakan arduino yang terhubung dengan sensor ultrasonic, pengukuran ini dilakukan dalam kondisi tanpa kolom *oscillating water column*. Setelah tinggi gelombang, panjang gelombang, dan periode gelombang terukur, kemudian menentukan letak dimana karakteristik gelombang mendekati konstan. Meletakkan OWC pada tempat yang ditentukan. Mengukur kecepatan udara pada saluran buang menggunakan anemometer dan mengukur ketinggian permukaan air dalam kolom menggunakan sensor ultrasonic. Pengukuran kecepatan dan tinggi permukaan air dalam kolom dilakukan pada semua variasi letak dan diameter saluran buang. Semua hasil pengukuran dicatat pada tabel data yang telah disiapkan.

Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya gelombang air pada chamber air. Untuk mendapatkan daya gelombang perlu mendapatkan data gelombang air yaitu panjang gelombang, tinggi gelombang, dan periode gelombang.





### 3.4 Diagram Alir Penelitian

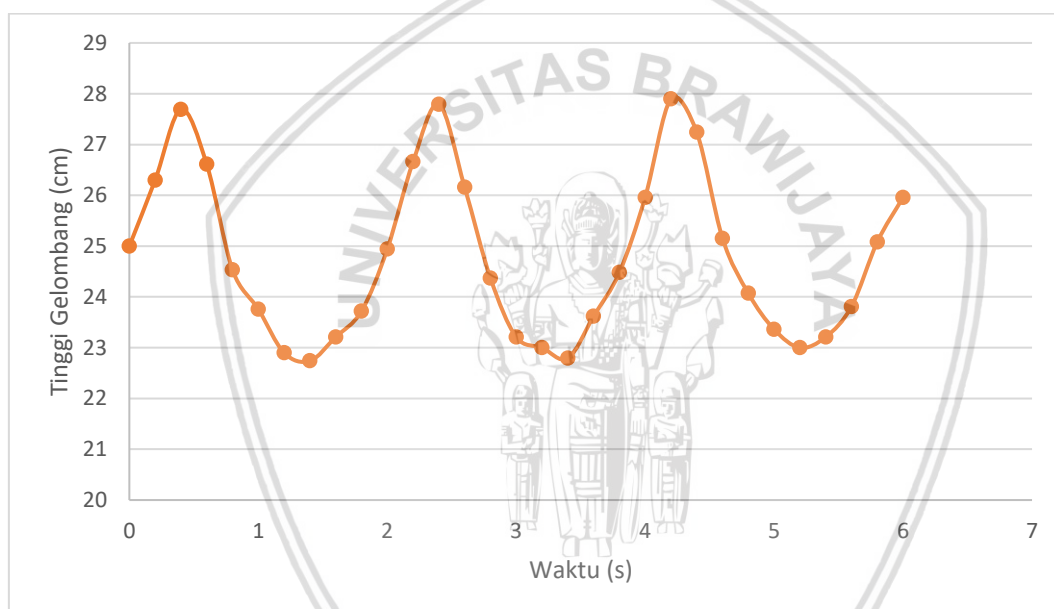


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data dan Perhitungan

#### 4.1.1 Pengolahan Data Daya Gelombang Air

Untuk mengetahui karakteristik gelombang maka dilakukan pengukuran data gelombang, antara lain tinggi gelombang, periode gelombang, dan panjang gelombang. Karakteristik gelombang tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hubungan waktu terhadap tinggi gelombang.

Gambar 4.1 diatas menunjukkan bahwa gelombang yang terbentuk merupakan jenis gelombang knoidal, yaitu gelombang periodik yang mempunyai puncak tajam dan dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang. Hal ini dapat terjadi karena kedalaman air yang dangkal sehingga menyebabkan bentuk gelombang seperti diatas. Dari gambar grafik gelombang diatas dapat dijadikan bentuk tabel 4.1.

Tabel 4.1

Data Karakteristik Gelombang

No.	Data	Nilai	Satuan
1.	Kedalaman air	0.25	m
2.	Panjang gelombang	3.00	m
3.	Tinggi gelombang	0.05	m
4.	Amplitudo gelombang	0.03	m

5.	Periode gelombang	2.00	s
----	-------------------	------	---

Setelah didapat data pada table 4.1 maka dapat dilakukan langkah perhitungan seperti berikut.

1. Perhitungan nomor gelombang

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

$$k = \frac{2 \cdot 3,14}{3}$$

$$k = 2,093$$

2. Penentuan klasifikasi gelombang

$$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$$

Dengan nilai  $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$  maka termasuk dalam klasifikasi gelombang jenis transisional (wave mechanic).

3. Perhitungan kecepatan group gelombang

$$\begin{aligned} c_g &= \frac{L}{2T} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right] \\ &= \frac{3}{2.2} \left[ 1 + \frac{2 \cdot 2,093 \cdot 0,25}{\sinh(2 \cdot 2,093 \cdot 0,25)} \right] \\ &= 1,3787 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4. Perhitungan energi total rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \bar{E}_k + \bar{E}_p = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2}{8} \\ &= \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,05^2}{8} \\ &= 3,0656 \text{ Nm} \end{aligned}$$

5. Daya gelombang

$$\begin{aligned} \bar{P}_w &= \bar{E} \cdot c_g \cdot b \\ &= 3,0656 \cdot 1,3787 \cdot 0,3 \\ &= 1,2680 \text{ watt} \end{aligned}$$

#### 4.1.2 Pengolahan Data Daya Udara

Setelah didapatkan data besar kecepatan udara pada saluran buang maka dapat dilakukan perhitungan daya udara sebagai berikut.

1. Menghitung beda tekanan antara dalam kolom dan lingkungan.

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{\rho_a v^2}{2} \\ &= \frac{1,2 \cdot 3,3417^2}{2} \\ &= 6,7 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

2. Menghitung debit

$$\begin{aligned}Q &= v \frac{\pi D^2}{4} \\ &= 3,3417 \frac{3,14 \cdot 0,056^2}{4} \\ &= 0,0082 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

3. Menghitung daya udara

$$\begin{aligned}P_{owc} &= \Delta P \cdot Q \\ &= 6,7 \cdot 0,0082 \\ &= 0,0551 \text{ watt}\end{aligned}$$

### 5.1.2 Pengolahan Data Efisiensi

1. Menghitung efisiensi

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{P_{owc}}{P_w} \times 100 \\ &= \frac{0,0551}{1,268} \times 100 \\ &= 4,35\%\end{aligned}$$

Untuk nilai perhitungan daya gelombang, daya udara, dan efisiensi pada variasi diameter dan letak saluran buang dapat dilihat pada table 4.2.

Tabel 4.2  
Data Hasil Perhitungan

No.	Letak	Diameter (mm)	Beda Tekanan (N/m <sup>2</sup> )	Kecepatan (m/s)	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Daya Gelombang (watt)	Daya Udara (watt)	Efisiensi (%)
1.	Atas	56	6,7000	3,3417	0,0082	1,268	0,0551	4,35
2.	Atas	36	16,9430	5,3140	0,0054	1,268	0,0916	7,22
3.	Atas	16	6,5192	3,2963	0,0007	1,268	0,0043	0,34

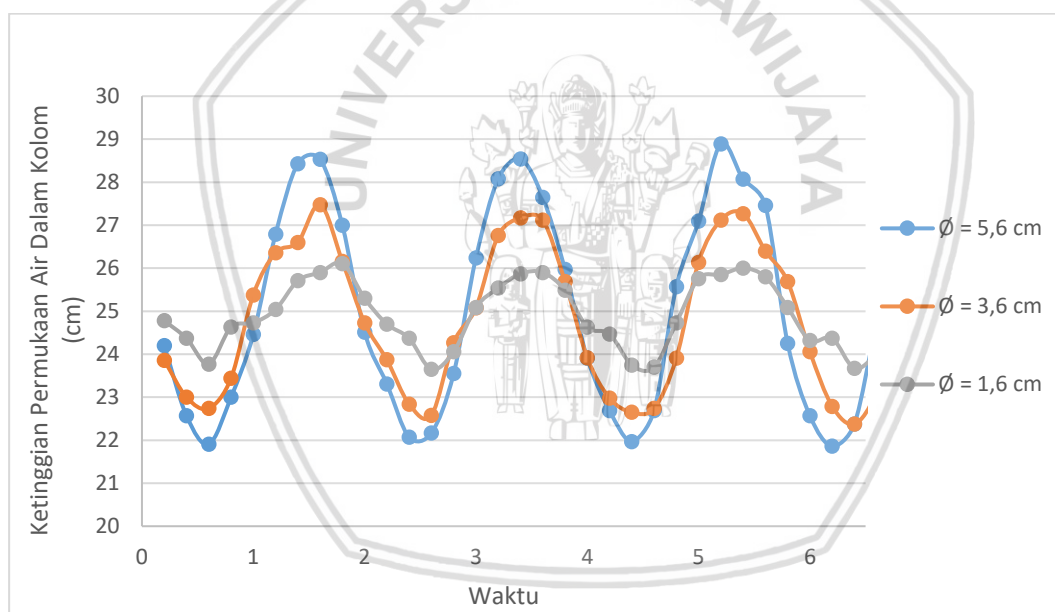
4.	Sampling	56	5,3581	2,9883	0,0074	1,268	0,0394	3,11
5.	Sampling	36	11,9201	4,4572	0,0045	1,268	0,0541	4,26
6.	Sampling	16	3,0375	2,2500	0,0005	1,268	0,0014	0,11

## 4.2 Analisa Grafik

### 4.2.1 Hubungan Letak dan Diameter Saluran Buang Terhadap Kinerja Perangkat

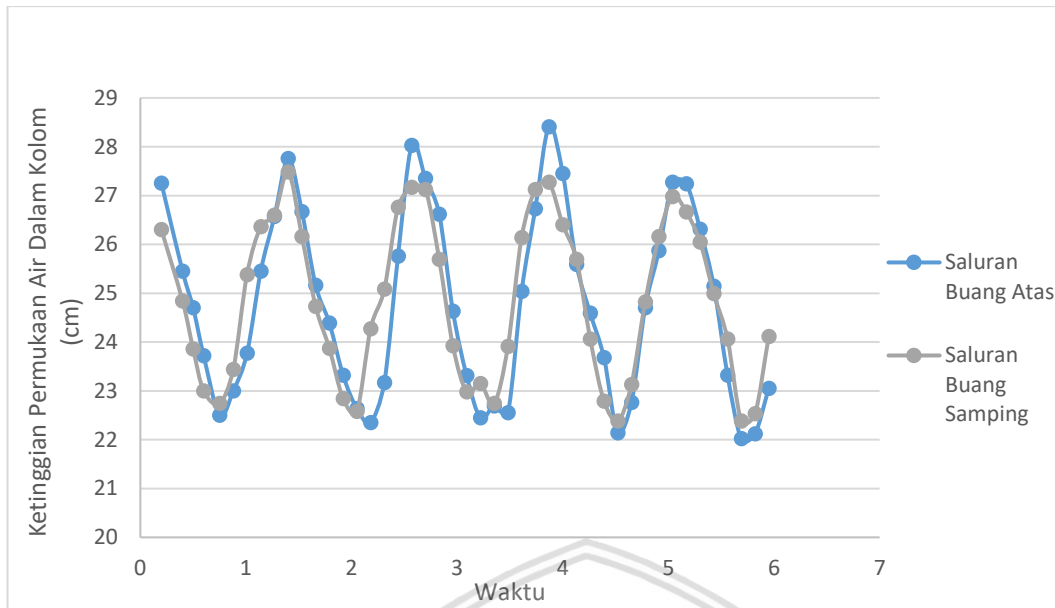
#### *Oscillating water column*

Pengambilan data perubahan ketinggian permukaan air dalam kolom dilakukan untuk mengetahui perubahan tinggi permukaan air dalam kolom dengan diameter dan letak yang berbeda. Permukaan air dalam kolom diasumsikan seragam, sehingga ketinggian seluruh permukaan sama. Dari data yang telah diambil maka diperoleh grafik hubungan antara waktu dan ketinggian permukaan air dalam kolom, data tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2.



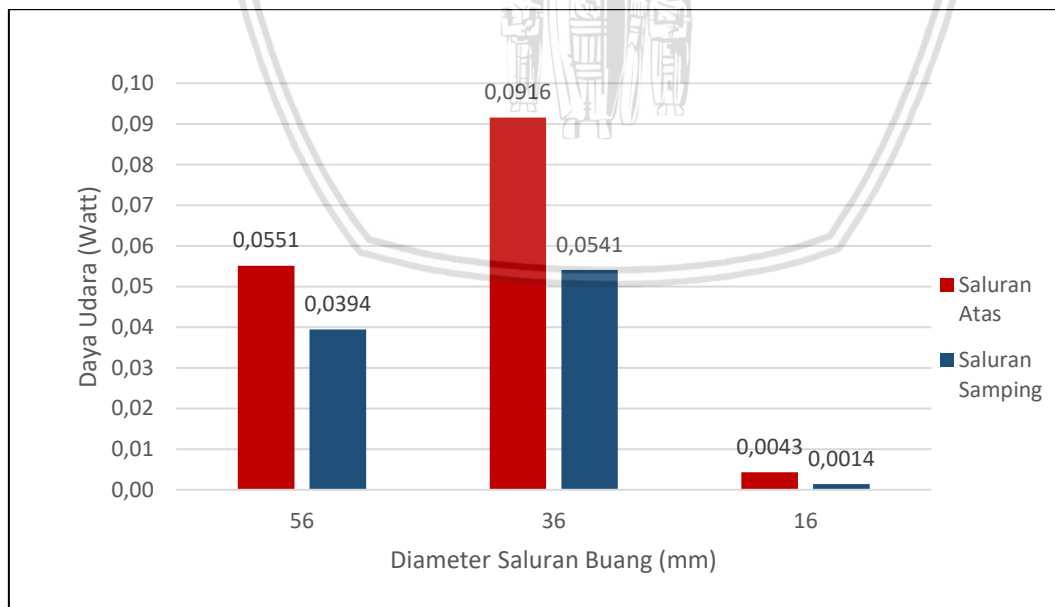
Gambar 4.2 Hubungan diameter saluran buang terhadap ketinggian gelombang

Pada Gambar 4.2 diatas menunjukkan hubungan antara besar diameter saluran buang terhadap ketinggian perubahan permukaan air dalam kolom. Dapat kita lihat bahwa pada diameter saluran buang 1,6 cm terjadi perubahan ketinggian permukaan air paling kecil, hal ini menunjukkan bahwa hambatan udara yang terjadi pada kolom dengan diameter saluran buang 1,6 cm memiliki nilai paling besar.



Gambar 4.3 Hubungan letak saluran buang terhadap ketinggian gelombang

Selain diameter, letak saluran buang juga dapat mempengaruhi besar hambatan udara dalam kolom. Dapat dilihat pada gambar 4.3 diatas bahwa perubahan ketinggian permukaan air dalam kolom pada letak saluran buang atas lebih besar dibandingkan dengan letak saluran buang samping. Hal ini membuktikan bahwa saluran buang samping memiliki hambatan udara lebih besar.



Gambar 4.4 Hubungan diameter dan letak saluran buang terhadap daya udara

Kinerja perangkat *oscillating water column* ditentukan oleh banyak variabel, salah satunya adalah daya udara ( $P_{owc}$ ). Daya udara merupakan salah satu karakteristik yang



dimiliki oleh perangkat *oscillating water column*, dimana daya udara menunjukkan seberapa besar daya yang dapat dihasilkan oleh perangkat *oscillating water column* pada saat proses tekan dan hisap. Dalam sistem *oscillating water column* sendiri terdapat dua proses, yaitu proses tekan dan hisap. Proses tekan terjadi ketika air pada kolom bergerak naik sehingga udara dalam kolom tertekan keluar dan mengalami peningkatan kecepatan, sedangkan proses hisap terjadi ketika air pada kolom bergerak turun sehingga udara dari luar akan terhisap masuk ke dalam kolom.

Daya udara dipengaruhi oleh beda tekanan dinamis pada kolom udara dengan tekanan atmosfer, masa alir udara, dan hambatan udara pada penyempitan luas penampang dan belokan. Untuk nilai beda tekanan sendiri dipengaruhi oleh nilai masa jenis udara ( $\rho_a$ ) dan kecepatan udara ( $v$ ). Sedangkan untuk masa alir udara dipengaruhi oleh kecepatan udara ( $v$ ) dan diameter saluran buang ( $D$ ) sesuai dengan persamaan berikut.

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q$$

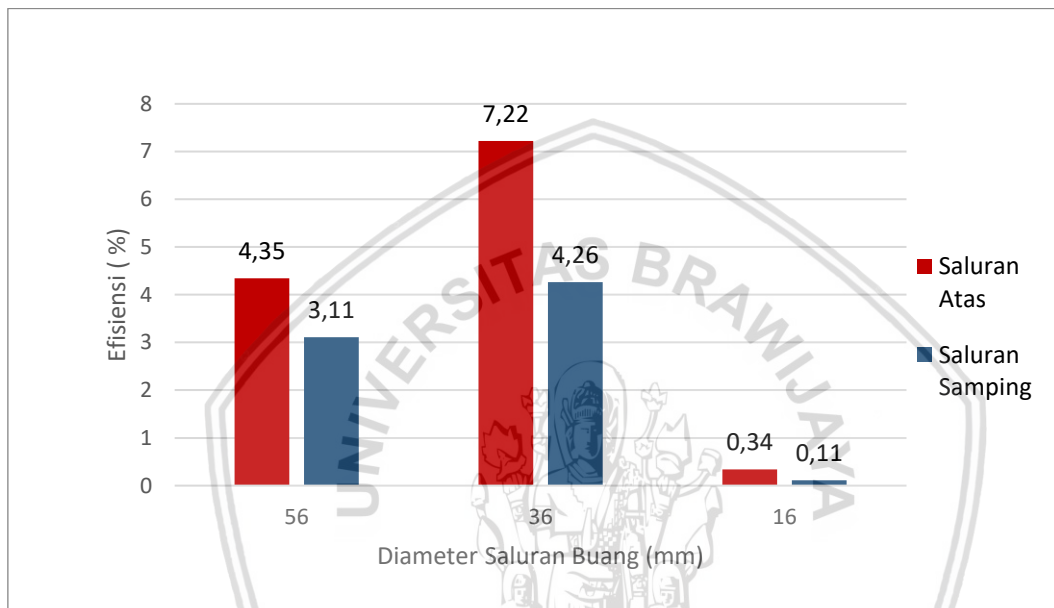
$$= \frac{\rho_a v^2}{2} \cdot v \frac{\pi D^2}{4}$$

Pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan daya udara berdasarkan letak dan diameter saluran buang. Dari data diatas dapat dilakukan analisa yaitu hubungan antara letak dan diameter saluran buang terhadap daya udara. Dengan diameter saluran buang yang semakin kecil maka akan mengakibatkan kecepatan udara yang meningkat, hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas yaitu:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Maka dari itu secara teori daya udara terbesar dapat dihasilkan pada diameter 16 mm kemudian diameter 38 mm dan 56 mm. Akan tetapi dari hasil eksperimen diameter saluran buang 38 mm memiliki daya udara paling besar, yaitu sebesar 0.0916 watt pada saluran atas dan 0.0541 watt pada saluran samping. Hal ini dapat terjadi karena diameter saluran buang juga mempengaruhi besar masa alir yang melewati saluran buang. Dengan semakin besar diameter saluran buang maka semakin besar masa alir. Dimana secara teori diameter 56mm memiliki massa alir paling besar kemudian diameter 38 mm dan 16 mm. Sehingga urutan daya udara aktual yang terjadi yaitu diameter 38 mm, 56 mm, dan 16 mm.

Selain diameter, letak saluran buang juga akan mempengaruhi besar daya udara yang dihasilkan, dimana hambatan yang terjadi pada saluran atas dan samping memiliki nilai yang berbeda. Dari grafik dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan pada saluran buang atas memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan saluran samping. Hal ini dapat terjadi karena hambatan udara pada saluran samping lebih besar dibandingkan dengan saluran atas.



Gambar 4.5 Hubungan diameter dan letak saluran buang terhadap efisiensi

Pada Gambar 4.5 diatas menunjukkan pengaruh letak dan diameter saluran buang terhadap efisiensi perangkat *oscillating water column*. Besar nilai efisiensi dapat dipengaruhi oleh daya udara dan daya gelombang. Dengan semakin besar daya udara dan daya gelombang yang tetap maka efisiensi akan semakin besar, hal ini sesuai dengan rumus efisiensi yaitu.

$$Efisiensi_{owc} = \frac{P_{owc}}{P_w} \times 100$$

Besarnya efisiensi dipengaruhi oleh daya gelombang air dan daya yang dihasilkan oleh perangkat *oscillating water column* tersebut. Besarnya efisiensi perangkat *oscillating water column* berhubungan dengan besarnya daya udara yang dihitung pada pembahasan sebelumnya. Dalam hal ini *oscillating water column* dengan saluran buang atas

menghasilkan daya udara yang lebih besar dari pada perangkat *oscillating water column* dengan saluran buang samping, sehingga mempunyai efisiensi yang lebih besar. Penjelasan mengapa perangkat *oscillating water column* dengan saluran buang atas memiliki efisiensi yang lebih besar sama dengan penjelasan pada bagian sebelumnya mengenai kehilangan energi pada variasi letak saluran buang, baik kehilangan energi yang terjadi pada sudden contraction maupun akibat belokan.

Dari hasil penelitian yang dijelaskan di atas dapat disimpulkan bahwa perangkat *oscillating water column* dengan saluran buang atas mengalami kehilangan energi yang lebih kecil, sedangkan daya udara dan efisiensinya lebih besar bila dibandingkan dengan perangkat *oscillating water column* dengan saluran buang samping. Sehingga penggunaan perangkat *oscillating water column* dengan saluran buang atas akan lebih menguntungkan. Hal tersebut di atas berlaku bila konfigurasi pintu masuk sama dengan yang digunakan di dalam penelitian ini.

Selain letak saluran buang, dalam penelitian ini juga memvariasikan dimensi saluran buang. Dalam hal ini *oscillating water column* dengan ukuran diameter saluran buang 36 mm menghasilkan daya udara yang lebih besar dari pada perangkat *oscillating water column* dengan ukuran diameter saluran buang 56 mm dan 16 mm, sehingga mempunyai efisiensi yang lebih besar. Penjelasan mengapa perangkat *oscillating water column* dengan saluran buang atas memiliki efisiensi yang lebih besar sama dengan penjelasan pada bagian sebelumnya mengenai kehilangan energi pada variasi dimensi saluran buang yang dikarenakan kehilangan energi yang terjadi pada sudden contraction.

Dari hasil penelitian yang dijelaskan di atas dapat disimpulkan bahwa perangkat *oscillating water column* dengan ukuran diameter saluran buang 36 mm mengalami kehilangan energi yang lebih kecil, sedangkan daya udara dan efisiensinya lebih besar bila dibandingkan dengan perangkat *oscillating water column* dengan ukuran diameter saluran buang 56 mm dan 16 mm. Sehingga penggunaan perangkat *oscillating water column* dengan ukuran diameter saluran buang 36 mm akan lebih menguntungkan. Hal tersebut di atas berlaku bila konfigurasi pintu masuk sama dengan yang digunakan di dalam penelitian ini.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Diameter saluran buang 3,6 cm memiliki daya udara paling besar dibandingkan diameter 5,6 cm dan 1,6 cm yaitu sebesar 0,0916 Watt. Hal ini disebabkan pada diameter saluran buang 3,8 cm memiliki ratio kecepatan udara dan hambatan udara yang paling optimal.
2. Letak saluran buang atas memiliki daya udara yang lebih besar dibandingkan saluran buang samping, hal ini dapat terjadi karena saluran buang samping memiliki hambatan udara yang lebih besar dibandingkan saluran buang atas.
3. Nilai efisiensi paling tinggi terjadi pada diameter saluran buang 3,6 cm, hal ini dapat terjadi karena daya udara yang besar akan tetapi kerugian energi yang terjadi tidak besar.
4. Nilai efisiensi saluran buang atas lebih besar dibandingkan saluran buang samping. Dengan letak saluran buang samping dapat mengakibatkan hambatan udara yang lebih besar dibandingkan saluran atas sehingga kerugian energi yang terjadi lebih besar.

### **5.2 Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya agar melakukan penelitian secara analisa dan eksperimen agar dapat membandingkan hasil yang didapat.
2. Ukuran kanal sebaiknya dibuat lebih panjang dan diberi peredam gelombang agar tidak terjadi gelombang balik.
3. Fluida cair yang digunakan sebaiknya diberi warna sehingga dapat terlihat pola aliran dengan jelas.





## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, A. Yunus & John, M. Cimbala (2004). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill, hal. 351
- John Ashlin, S., Sundar, V., & Sannasiraj, S. A. (2016). Effects of bottom profile of an oscillating water column device on its hydrodynamic characteristics. *Renewable Energy*, 96, 341–353.
- Morris-Thomas, M. T., Irvin, R. J., & Thiagarajan, K. P. (2007). An Investigation Into the Hydrodynamic Efficiency of an Oscillating Water Column. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 129(4), 273.
- Munson, B. R & Young, F. Donald (2002). *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga, hal. 237
- Ning, D. Z., Wang, R. Q., Zou, Q. P., & Teng, B. (2016). An experimental investigation of hydrodynamics of a fixed OWC Wave Energy Converter. *Applied Energy*, 168, 636–648.
- Patel, S. K., Ram, K., & Ahmed, M. R. (2013). Effect of turbine section orientation on the performance characteristics of an oscillating water column device. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 44, 642–648.
- Utami, S. R. (2007). Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem Oscilating Water Column (Owc) Di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia. *Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia*.